

IPS 教員インタビュー

機能材料の分野で、世界有数の“尖った”研究を目指す

宝飾品や高級食器などに用いられる銀メッキから、カメラ等のレンズコーティング、ダイオードやトランジスタ…と、幅広い分野で活用されている「薄膜材料」。近年は、コンピュータの半導体メモリや、スマホのプロセッサ及び画面なども薄膜で構築されているので、私たちの生活そのものが、薄膜材料によって支えられているといっても過言では無いだろう。そんな中で、薄膜結晶成長及び界面制御技術を駆使し、現代の情報化社会に革新を起こすような新機能材料の開発に取り組んでいるのが、大学院情報生産システム研究科の植田研二教授だ。

高性能半導体の開発に向け、ダイヤモンド薄膜形成技術を極める

「薄膜」とはその名の通り、ガラスやシリコン基板などの上に、極めて薄く平滑に堆積した膜のこと。金属メッキのように、金属イオンを含むメッキ液の中で表面処理する方法もあるが、電子部品やコンピュータの記憶素子などに用いられる $1\mu\text{m}$ (100万分の1メートル)未満の薄膜は、膜を形成させる成分を真空中で反応させ、回路基盤などの表面に凝着・堆積させる「CVD(化学気相成長法)」によって形成する。

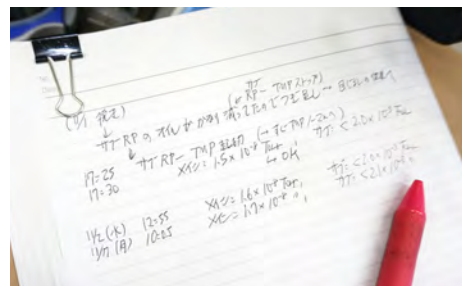
半導体デバイスの場合、 SiH_4 (モノシラン)や SiHCl_3 (トリクロロシラン)、 SiCl_4 (四塩化ケイ素)などを原料にしてシリコンの膜を作るのが一般的なのだが、植田研究室ではダイヤモンドやグラフェンなど、無機炭素による新材料の開発に力を入れている。

あえて炭素系の材料開発に取り組む理由の1つとして、植田教授は「大電圧をかける『パワー半導体』を開発する上で、ダイヤモンドは有望な材料なのです。ご存知の通り、ダイヤモンドの共有結合は非常に強力で、シリコンだと耐えられないような大電圧をかけても簡単には壊れず、大電力動作が可能です。発電装置や産業機器などに組み込む際、より大きな電力に対応できる半導体の方が有利ですからね」と説明する。

ちなみに、近年急速に普及しているEV(電気自動車)は、複数のリチウムイオンバッテリーで構成されたモジュールを、さらに複数個接続し、280~360Vで動力用モーターを駆動している。鉄道車両のインバーターなども、シリコン半導体よりも電流オン/オフ時の電力損失が少ないことから、高性能なパワー半導体を求めている。今後、さらに需要が高まるであろうパワー半導体の開発分野において、植田研究室の研究は大きなインパクトを与えるかもしれない。

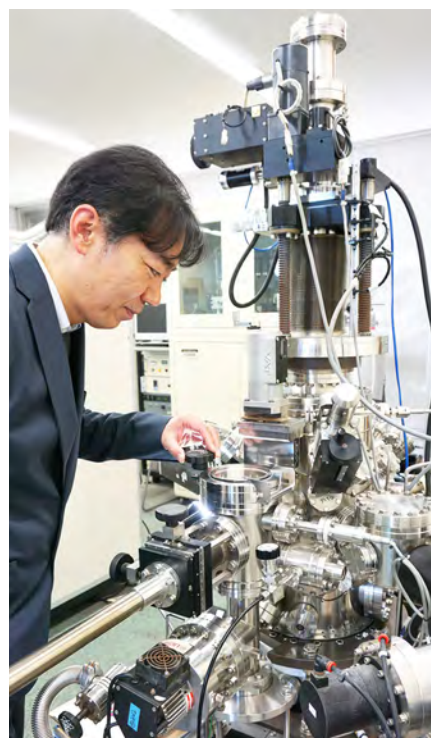


真空チャンパー内に、メタンなど炭素源となる素材を導入し、結晶成長させる。



グラフェンとダイヤモンドで、「脳+目」の機能を持つ素子を開発

多彩な構造が作れる点も、植田教授が炭素材料に注目する理由の1つだ。炭素の構造は sp 、 sp^2 、 sp^3 の3種類に大別され、他の元素と共有結合することで、「無数に」と表現しても過言ではないほどの化合物を作ることができる。 sp 、 sp^2 、 sp^3 を自由に混成させることも可能だ。



「当研究室ではダイヤモンドとグラフェンの組み合わせで、新機能・新物性を持つ材料の開発に取り組んでいます。結晶の配向方向や、何層積んだかにより、界面の状態が色々変化します。『機能の宝庫』と言って良いでしょう。その代表例の1つが、植田教授をはじめとする研究チームが開発した、新しい光デバイス。まるで「人間の脳+目」と同じように、重要な情報を選択的に覚えることができる光記憶素子だ。人間の脳は、神経細胞の接合部(シナプス)の結合強度を外部からの刺激に応じて変えることで、情報の記憶・忘却期間が切り替わる。植田教授らのチームが開発した、グラフェンとダイヤモンドを積層・複合化した素子も、脳内シナプスと同様、光刺激の強弱に応じて記憶保持時間が切り替わる特性を持っており、1つの素子で人間の眼と脳の機能を併せ持つことを発見した。人間の脳の場合、電気的な刺激によってシナプスの結合強度が変化するが、この素子はグラフェンとダイヤモンドの境界面において、強度の強い(重要な)光情報のみを選択的に記憶。素子に光刺激が入力すると、電気抵抗値の変化に置き換えられ、光の強弱によって抵抗値の記憶保持時間が変わる。

「この技術をカメラのイメージセンサに応用すれば、センサ側で自動的に光情報を取捨選択し、重要な情報のみを検出・記憶できるシステムの開発が可能になるはずだ。例えば防犯カメラなどに応用すれば、金庫の前を通り過ぎる人の映像はすぐに消え、金庫周辺を何度もうろつく怪しい人物の映像だけを残す…といった応用法が考えられるのではないだろうか」。

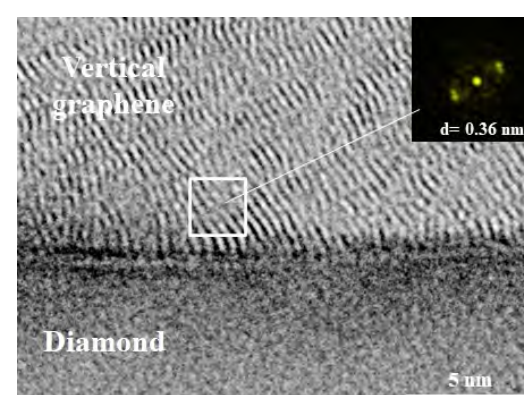
積層の状態をコントロールすることで新機能・物性を探索

ダイヤモンド薄膜はほとんどの場合、マイクロ波を使った「プラズマCVD」で形成する。熱力学的に不安定であるダイヤモンド分子をコントロールするため、プラズマを使って励起状態にするわけだ。「マイクロ波のエネルギーで、チャンパー内に導入したメタンガスや水素ガスを活性化させ、特殊な励起状態を作ります。その際、プラズマのパワーやガスの比率、成膜温度などをコントロールすることにより、同じ炭素系でもダイヤモンドとグラフェンの積層構造を作ったりできるわけです」。

植田研究室ばかりでなく、複数の大学や企業の研究機関が、ダイヤモンドを半導体材料として実用化する研究を進めている。その理由の1つに、バンドギャップ(電子が存在できない領域)の大きさや高い熱伝導率、その他様々な化学的・光学的特性が挙げられる。一般的なシリコン半導体のバンドギャップは1eV(エレクトロンボルト)程度だが、ダイヤモンド半導体は、室温で5.47eVという大きなバンドギャップを持っている。

一方のグラフェンは、固さも熱伝導率もダイヤモンド以上で、電荷の移動速度も物質中最高レベル。ただし、単層の状態ではバンドギャップが存在しない。だからこそ、ダイヤモンドとグラフェンの「積層」「界面」を制御しながら、機能や物性を探索する植田研究室の取り組みは、「世界有数の尖った研究」になり得るわけだ。

「研究室の院生たちも、『新しい材料を自分自身の手で作ることができる』という点に面白味とやり甲斐を感じているようです。薄膜の形成ばかりではなく、トランジスタやLED、光センサなどのプロトタイプを作成し、その性能測定を自分たちで行ったりもしています。新しいモノを生み出すことに興味のある学生は、ぜひ、植田研二教授の研究室を訪れていただきたい。

マイクロ波によるプラズマCVD法で、垂直配向グラフェン(VG)/ダイヤモンド(C_{sp^2} - sp^3)の積層構造皮膜を作成。